西花蓟马成虫昼间交配习性和聚集信息素释放节律

李晓维[1]，孙冉冉[2]，章金明[1]，张治军[1]，吕要斌[1,2,*]

（1. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所，
浙江省植物有害生物防控重点实验室——省部共建国家重点实验室培育基地，杭州 310021；
2. 南京农业大学植物保护学院，南京 210095）

摘要：【目的】西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 是一种毁灭性的世界性入侵害虫，对我国蔬菜和花卉等作物具有重大威胁。为了更好地应用蓟马聚集信息素进行西花蓟马监测和防治，本试验在室内对西花蓟马昼间交配习性、雌雄互作和雄成虫聚集信息素释放节律进行研究。【方法】通过单独配对和群体配对两种方法研究西花蓟马成虫在光照阶段的第 1，4，8 和 12 小时 4 个不同时间的交配行为；采用显微摄像系统研究西花蓟马雌雄成虫间 4 个不同时间的互作节律；采用固相微萃取法和气质联用仪分析西花蓟马雄成虫聚集信息素两种组分 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 和(*R*)-lavandulyl acetate 在 4 个不同时间的释放节律。【结果】西花蓟马成虫在光照阶段的 4 个不同时间内的交配率、交配历期(持续时间)、雌雄互作次数和雄成虫对雌成虫的交配尝试次数均不存在显著差异，说明交配行为和雌雄互作行为不具有明显的节律性。西花蓟马雄成虫聚集信息素具有引诱活性的 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 在光照阶段的这 4 个不同时间的释放率不存在显著差异，其释放节律与西花蓟马成虫的交配相关行为相一致。另一种不具有引诱活性的组分(*R*)-lavandulyl acetate 在光照阶段的这 4 个不同时间释放率具有显著差异，呈逐渐增高趋势。【结论】本研究证实了西花蓟马成虫在室内光照条件下交配相关行为不存在明显的节律性，其聚集信息素主要引诱成分 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 的释放亦无明显的节律性。该结果为进一步研究西花蓟马聚集信息素不同组分的行为调控作用提供了理论依据，同时为合理高效地应用聚集信息素进行西花蓟马田间种群动态监测和防控提供指导。

关键词：西花蓟马；交配行为；雌雄互作；聚集信息素；释放节律

中图分类号：Q968　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0454-6296(2017)12-1439-08

Mating behavior and aggregation pheromone release rhythm of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) adults during photophase

LI Xiao-Wei[1], SUN Ran-Ran[2], ZHANG Jin-Ming[1], ZHANG Zhi-Jun[1], LU Yao-Bin[1,2,*] (1. State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 2. Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract:【Aim】Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, is a worldwide invasive pest causing devastating damage on crops. Now it becomes a big threat to vegetable and ornamental industry in China. In order to establish the basis of using aggregation pheromone to monitor and control this pest, the mating

---

基金项目：国家自然科学基金项目(31570387)；国家重点研发计划(2017YFD0200400)；浙江省农业科学院青年人才培养项目(10)；云南省烟草公司科技计划项目(2017YN13)

作者简介：李晓维，女，1986 年 10 月生，河北永年人，博士，助理研究员，研究方向为昆虫化学生态和行为学研究，E-mail: lixiaowei1005@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: luybcn@163.com

收稿日期 Received: 2017-08-08；接受日期 Accepted: 2017-10-11

activity, the female-male interaction and release rhythm of aggregation pheromone of male adults of *F. occidentalis* during photophase were investigated in this study. 【Methods】The mating behavior of *F. occidentalis* adults was tested using single pair mating and group mating methods, the female-male interactions were observed under video system, and the release rhythms of aggregation pheromone in male adults were analyzed at four time (the 1st, 4th, 8th and 12th hour) of photophase using solid phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry. 【Results】The mating percentages, mating duration, female-male interaction repeats and male harassment repeats of *F. occidentalis* adults at the four time of photophase were not significantly different, suggesting that the corresponding behaviors are arrhythmic during photophase. The release rhythms of the attractive aggregation pheromone component neryl (*S*)-2-methylbutanoate were in accordance with the behavior pattern, without significant difference at the four time of photophase. However, the release rates of unattractive aggregation pheromone component (*R*)-lavandulyl acetate were significantly different at the four time of photophase. 【Conclusion】The study confirmed that the mating activity, female-male interaction and the release of the attractive aggregation pheromone component neryl (*S*)-2-methylbutanoate of *F. occidentalis* adults are arrhythmic during photophase. These results provide a theoretical basis for understanding the behavioral function of aggregation pheromone compounds and a guide for population monitoring and pest control of thrips using aggregation pheromones in the field.

Key words: *Frankliniella occidentalis*; mating behavior; female-male interaction; aggregation pheromone; release rhythm

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*，又称苜蓿蓟马，隶属于缨翅目(Thysanoptera)蓟马科(Thripidae)花蓟马属 *Frankliniella*，是一种毁灭性的世界性入侵害虫(Kirk and Terry, 2003)。西花蓟马于 2003 年在我国北京首次报道(张友军等, 2003)，之后迅速蔓延，目前已在多个省份定殖(吕要斌等, 2011)。西花蓟马寄主范围广，包括蔬菜、花卉等 500 多种植物(Yudin *et al.*, 1986)，其成虫和若虫可直接取食危害植物，影响植株的生长，严重危害时导致植物枯萎。同时，西花蓟马可以传播多种植物病毒，如番茄斑萎病毒属病毒(*Tomato spotted wilt virus*, TSWV)，给作物造成毁灭性危害(Tommasini and Maini, 1995; Kirk, 2002)。因此，西花蓟马已成为我国蔬菜和花卉等作物的重大威胁。

目前，国内外已经开展利用多种方法进行西花蓟马的防控技术研究，如化学防治、诱虫板等物理防治以及信息素、天敌昆虫等生物防治措施(吕要斌等, 2011)。其中，昆虫信息素作为一种非化学防控措施，以其灵敏度高、准确性好、操作简便、高效无毒、环境友好等特点，在害虫检测和防治中得到广泛应用(王郁和邱乐忠, 2011)。聚集信息素是昆虫信息素的一种，是指由雌虫和雄虫或者任一性别的昆虫产生，能使雌雄两性同种昆虫的个体在特定的区域里聚集在一起的化合物(Wertheim *et al.*, 2005)。聚集信息素对雌、雄昆虫皆具引诱力的特性，使得其在害虫防控中具有更大应用潜力。目前，西花蓟马的聚集信息素已被分离鉴定，主要活性成分为(*R*)-lavandulyl acetate 和 neryl (*S*)-2-methylbutanoate (Hamilton *et al.*, 2005)。其中组分 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 在田间引诱试验中对西花蓟马雌雄虫均具有比较好的引诱效果，在室内行为试验中可以增加西花蓟马雌虫的活动性(Hamilton *et al.*, 2005; Olaniran, 2013)。相反，(*R*)-lavandulyl acetate 在田间对西花蓟马雌雄虫均无引诱效果，而在室内行为试验中则可使雄虫活动性增强，使雌虫活动性减弱(Hamilton *et al.*, 2005; Olaniran, 2013)。另外，国内学者在田间引诱试验中发现，虽然(*R*)-lavandulyl acetate 单独使用时没有显著的诱集活性，但对 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 具有明显的增效作用，两种化合物的比例同样影响引诱效果(吕要斌等, 2015)。

蓟马聚集信息素在害虫综合防治中具有多种应用潜能，如种群监测、田间诱杀、交配干扰、增强蓟马活动性提高杀虫剂效果等(Kirk, 2017)。目前已开发出基于蓟马信息素的引诱剂产品，并已在蓟马的绿色防控中得到一定的推广应用(Hamilton *et al.*, 2005; Broughton and Harrison, 2012; Broughton *et al.*, 2015; 吕要斌等, 2015)。然而，目前关于蓟马

聚集信息素的研究处于起步阶段，仍存在诸多问题，如不同聚集信息素组分作用机制不明确、引诱效果不稳定、最佳施用时间不明确等。在西花蓟马中，尚未有性信息素的报道，聚集信息素虽然对雌雄成虫的行为均有一定的调控作用，其在蓟马两性互作和交配行为中是否起到一定的作用尚未明确。本研究期望通过研究西花蓟马光照阶段的交配习性和聚集信息素释放节律，探索蓟马行为规律与聚集信息素间的相互关系。同时，基于西花蓟马的行为规律和信息素释放节律，为合理利用聚集信息素进行西花蓟马种群监测和无公害防治提供指导。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

西花蓟马成虫于 2007 年采自北京中国农业科学院蔬菜花卉研究所温室大棚的甜椒 *Capsicum annuum* 上，用四季豆 *Phaseolus vulgaris* 饲养于人工气候室内，温度为 25 ±1℃，相对湿度为 65% ±5%，光周期为 14L: 10D。

1.2　西花蓟马昼间交配节律观察

对于产雄孤雌生殖蓟马而言，未交配的雌虫产下的未受精卵只能发育成雄性后代，而交配过的雌虫产下的受精卵则发育成雌性后代。因此，后代中雌性后代的产生表明交配成功。通过观察交配后雌虫后代性比发现，具有正常交配历期（持续时间）的交配行为的雌虫，交配的成功率极高（Li *et al*., 2014a, 2014b, 2015）。西花蓟马为典型的产雄孤雌生殖蓟马，本试验将完成交配行为且交配历期（持续时间）近于平均交配历期的西花蓟马雌虫视为交配成功。本试验用单独配对和群体配对两种方法研究西花蓟马昼间交配节律。从试验种群中挑取西花蓟马的蛹，单头饲养于离心管中，待羽化后，在体式显微镜下区分雌雄虫后备用。将羽化后 1 d 的雌雄成虫分别于光照阶段的第 1，4，8 和 12 小时（分别代表光照刚开始、上午时间、下午时间和光照结束前）单对配对于凹玻片中观察 1 h，每个时间 40 个重复，记录交配率和交配历期（持续时间）。为观察不同时间的群体交配率，将羽化后 1 d 的 10 头雌虫和 10 头雄虫分别于光照阶段的第 1，4，8 和 12 小时同时释放到 6 cm 直径的培养皿中，观察不同时间的交配率，每个时间 3 个重复。

1.3　西花蓟马雌雄成虫昼间活动规律观察

为避免交配状态对活动规律的影响，西花蓟马雌雄成虫昼间活动规律均采用交配后 2 d 的雌雄成虫进行。将交配后 2 d 的雌雄成虫分别于光照阶段的第 1，4，8 和 12 小时单头配对于凹玻片中，置于显微录像系统（索尼数码 HD 摄录一体机，HDR-SR11E）下观察 1 h，记录 1 h 内雌雄成虫的互作次数和交配尝试次数。雌雄互作行为是指雌雄成虫间的互相接触；交配尝试行为是指雄虫爬上雌虫背部并将腹部侧向弯曲伸向雌虫腹部末端。

1.4　西花蓟马聚集信息素释放节律研究

1.4.1　人工合成西花蓟马聚集信息素组分标准曲线制定：聚集信息素两种主要成分（*R*）-lavandulyl acetate（纯度≥98%，旋光异构体≥99%）和 neryl（*S*）-2-methylbutanoate（纯度≥98%，旋光异构体≥99%）由中国农业大学按照 Hamilton 等（2005）所报道的方法合成。合成的信息素通过装有 RXI-5MS 柱（30 m × 0.25 mm × 0.25 μm）的气质联用仪（SHIMADZU GCMS-QP2010 plus）进行分析。聚集信息素的成分分析鉴定利用 NIST08 谱图库及 2 种高纯度合成化合物质谱图进行。neryl （*S*）-2-methylbutanoate 和（*R*）-lavandulyl acetate 的手性分别通过手性色谱柱 CP-CHIRASIL-DexCB 柱（30 m × 0.25 mm × 0.25 μm）和 BGB-176SE 柱（30 m × 0.25 mm × 0.25 μm）进行拆分鉴定。仪器工作条件参考 Zhang 等（2011）。

分别将 1 μL 的 0 ng/μL（溶液正己烷），1，2，4 和 6 ng/μL 的（*R*）-lavandulyl acetate 溶液注射到 GC-MS 中，测定其峰面积，制定剂量和峰面积标准曲线。分别将 1 μL 的 0（正己烷溶液），5，10，20 和 40 ng/μL 的 neryl （*S*）-2-methylbutanoate 溶液注射到 GC-MS 中，测定其峰面积，制定剂量和峰面积标准曲线。

1.4.2　西花蓟马两种聚集信息素组分在光照阶段不同时间的释放率：从西花蓟马种群中挑取 3－7 日龄的雄成虫用于测定光照阶段的第 1，4，8 和 12 小时聚集信息素释放率。将 60 ~ 70 头雄成虫用毛笔挑到 1.5 mL 玻璃瓶中，在距离玻璃瓶 2 cm 处用 10 000 lx 冷光源进行光照刺激，引起蓟马雄成虫的徘徊和打斗行为（Terry and Gardner, 1990）。利用固相微萃取法（SPME, 100 μm, Polydimethylsiloxane Coating, Supelco 公司）在上述时间提取玻璃瓶中西花蓟马雄虫挥发物。然后应用气-质联用仪（GC-MS）对释放的挥发物进行分离，计算 neryl （*S*）-2-methylbutanoate 和（*R*）-lavandulyl acetate 两种组分在不同时间的峰面积，结合 1.4.1 节中制定的标准

曲线计算两种组分的释放量，并计算出每头雄虫每小时的释放量。每个时间 5 个重复。SPME 柱使用前在 200℃ 下活化 1 h。

1.5 数据统计与分析

数据处理应用 SPSS 软件（SPSS Inc.，2007 Chicago，IL.）进行。百分比数据和比值数据首先进行平方根反正弦转换。西花蓟马两种方法下不同时间的交配率采用双因素方差分析（Two-way ANOVA）进行差异分析。不同时间交配历期（持续时间）、雌雄互作次数和交配尝试次数均采用单因素方差分析进行比较。neryl (*S*)-2-methylbutanoate 和(*R*)-lavandulyl acetate 两种组分的单头每小时释放量和比值采用单因素方差分析进行比较。

2 结果

2.1 西花蓟马成虫昼间交配行为规律

双因素方差分析结果显示，配对方式（单对配对和群体配对）和光照阶段时间对西花蓟马成虫的交配率均没有显著的影响（表 1；图 1）。具体来说，两种配对方式下的西花蓟马在配对后 1 h 内 80% 以上可完成交配，且交配率不受配对时间影响，即西花蓟马成虫的交配行为在光照阶段不具有节律性。光照阶段不同时间的交配历期（持续时间）亦不存在显著差异（$F_{3,140}=0.125$，$P=0.945$），平均交配时间为 330 s 左右（图 2）。

表 1 配对方式、光照阶段时间及其交互作用对西花蓟马成虫交配率的双因素方差分析

Table 1 Two-way ANOVA for the effect of pairing pattern, time of photophase and their interactions on mating percentage of *Frankliniella occidentalis* adults

因素 Factors	*df* 值 Degree of freedom	*F* 值 *F* value	*P* 值 *P* value
配对方式 Pairing pattern	1	2.107	0.162
光照阶段时间 Time of photophase	3	0.044	0.988
配对方式×时间 Pairing pattern × time	3	0.942	0.439

2.2 西花蓟马成虫的昼间活动规律

交配过的雌雄成虫仍存在高频率的互作。然而，在光照阶段的不同时间，雌雄成虫互作次数没有显著差异（表 2），即西花蓟马雌雄成虫间的互作在光照阶段不具有节律性。另外，交配后，西花蓟马雄虫仍会对雌虫进行交配尝试，但交配尝试次数在不同时间亦没有显著差异（表 2）。

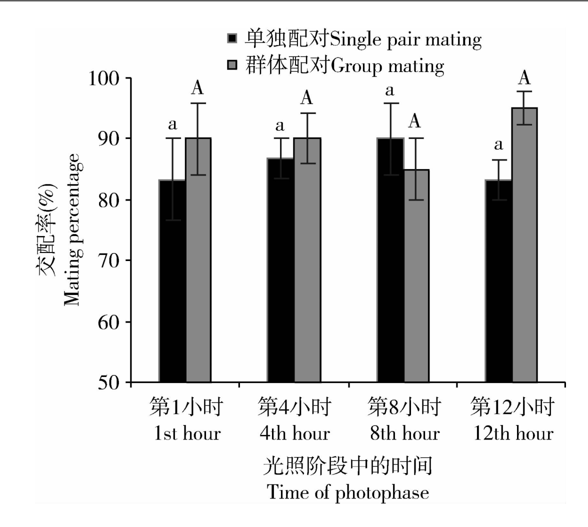


图 1 两种不同配对方式的西花蓟马成虫在光照阶段不同时间的交配率

Fig. 1 Mating percentage of *Frankliniella occidentalis* adults at different time of photophase under different pairing patterns

同一系列不同时间数据（平均值 ± 标准误）上方的相同字母（单独配对系列用小写字母表示，群体配对系列用大写字母表示）表示差异不显著（$P>0.05$，单因素方差分析）。Data (means ± *SE*) of different time of the same series with the same letters (lowercase letters for single pair mating series, while uppercase letters for group mating series) are not significantly different ($P>0.05$, one-way ANOVA).

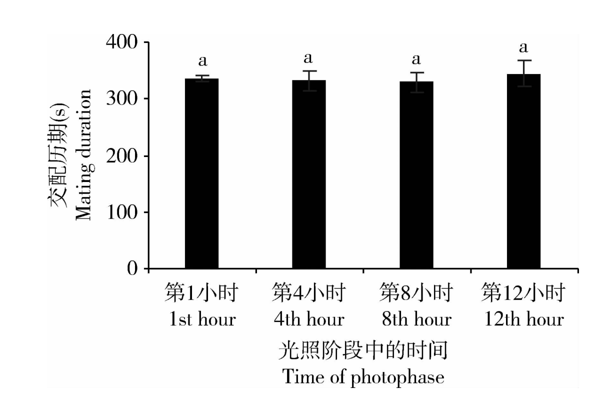


图 2 西花蓟马成虫在光照阶段不同时间的交配历期

Fig. 2 Mating duration of *Frankliniella occidentalis* adults at different time of photophase

数据（平均值 ± 标准误）上方的相同字母表示差异不显著（$P>0.05$，单因素方差分析）。Data (means ± *SE*) with the same letters are not significantly different ($P>0.05$, one-way ANOVA).

2.3 西花蓟马雄成虫聚集信息素的释放节律

通过 GC-MS 分离和标准曲线定量分析发现，西花蓟马雄成虫在光照阶段不同时间释放(*R*)-lavandulyl acetate 的量存在显著差异（$F_{3,16}=4.22$，

$P = 0.022$)，释放率在光照周期前半段较低，平均为 0.007 ng/h/头；光照周期后半段即光照周期第 8 小时开始升高，到第 12 小时时释放率最大，平均为 0.025 ng/h・头，是第 1 和 4 小时的 3 倍之多(图 3)。西花蓟马雄成虫在不同时间释放 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 的量则没有显著差异($F_{3,16} = 1.62$, $P = 0.224$)(图 3)。neryl (*S*)-2-methylbutanoate 与 (*R*)-lavandulyl acetate 两种主要组分的释放率比值则随时间逐渐降低，从光照周期刚开始第 1 小时的 21.6∶1逐渐降低至第 12 小时的 7.6∶1，存在显著差异($F_{3,16} = 4.011$, $P = 0.026$)(图 3)。

表 2　西花蓟马雌雄成虫在光照阶段不同时间的活动规律

Table 2　Interaction activities of female and male adults of *Frankliniella occidentalis* at different time of photophase

参数 Parameter	光照阶段不同时间 Time of photophase				统计量 Statistics
	第 1 小时 1st hour	第 4 小时 4th hour	第 8 小时 8th hour	第 12 小时 12th hour	
互作次数 Interaction repeats	45.4 ± 3.0 a	43.8 ± 3.0 a	44.7 ± 2.6 a	52.3 ± 2.1 a	$F_{3,156} = 2.075$, $P = 0.106$
雄虫交配尝试次数 Male harassment repeats	3.8 ± 1.2 a	3.5 ± 0.7 a	3.2 ± 0.6 a	3.6 ± 0.5 a	$F_{3,80} = 0.088$, $P = 0.966$

表中数据为平均值 ± 标准误，同行相同字母表示差异不显著($P > 0.05$，单因素方差分析)。Data in the table are means ± *SE*. Data in the same row with the same letters are not significantly different ($P > 0.05$, one way ANOVA).

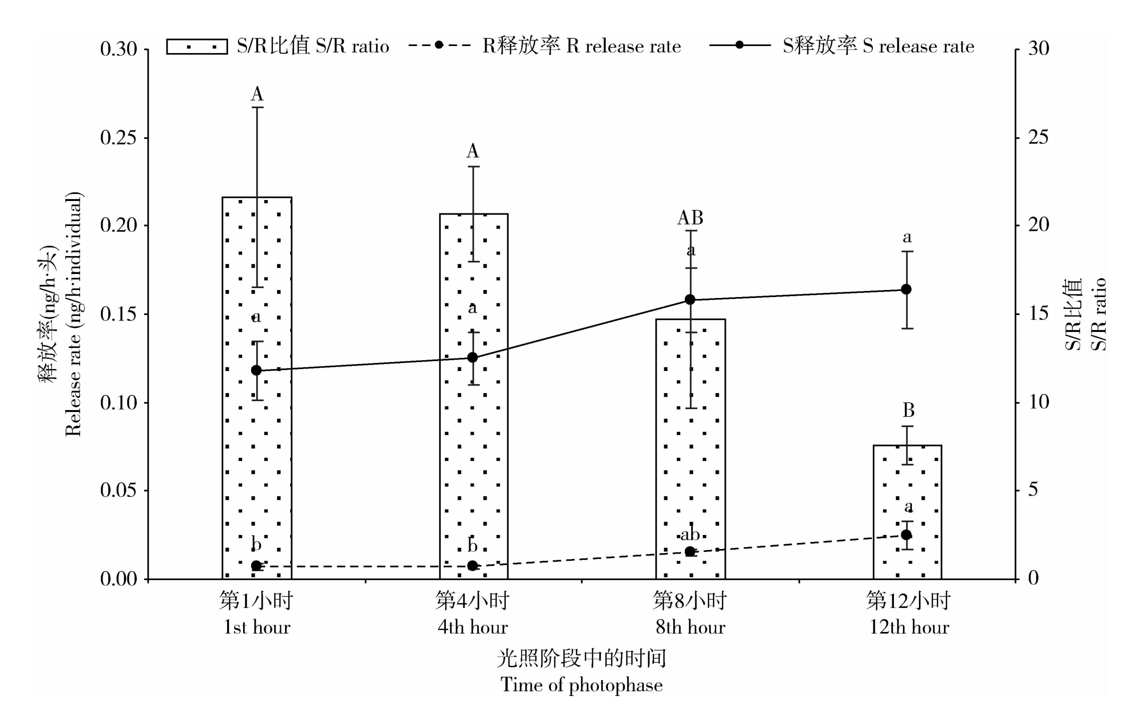


图 3　光照阶段不同时间西花蓟马雄成虫聚集信息素两种组分释放率和释放比例变化

Fig. 3　Changes in release rates of two pheromone components and their ratios at different time of photophase in male adults of *Frankliniella occidentalis*

R：(*R*)-Lavandulyl acetate；S：Neryl (*S*)-2-methylbutanoate. 同一系列数据具不同字母(R 释放率和 S 释放率用小写字母表示，S/R 比值用大写字母表示)表示差异显著($P < 0.05$，单因素方差分析)。Data of the same series with different letters (lowercase letters for R release rate and S release rate, while uppercase letters for S/R ratio) are significantly different ($P < 0.05$, one-way ANOVA).

3　讨论

对于食叶和食花的昆虫而言，其活动与视觉息息相关，一般表现为昼间活动行为(Lewis and Taylor, 2010)。西花蓟马为典型的昼间活动昆虫，即日习性昆虫，其多种行为主要发生在昼间。西花蓟马的飞行行为主要发生在昼间，夜间无飞行行为

(Mateus *et al*., 1996; Pearsall, 2002; 裴昌莹等, 2010)。西花蓟马昼间的行走行为明显多于夜间(Whittaker and Kirk, 2010)。西花蓟马的产卵行为同样主要发生在昼间(Kirk *et al*., 1999, Kiers *et al*., 2010)。因此,本研究着重研究了西花蓟马恒定光照下(即昼间)的交配相关行为。结果表明,西花蓟马昼间的交配相关行为不具有明显的节律性。西花蓟马雌雄虫在光照阶段不同时间的交配率没有显著差异,无论在哪个时间配对,交配率均可达到80%以上。不同时间的交配历期也不存在显著差异。与此同时,其他交配相关行为,如雌雄成虫间的互作和雄虫对雌虫的交配尝试行为在光照周期的不同时间均不存在显著差异。田间调查结果发现,西花蓟马的飞行行为在昼间具有一定的节律性,但这种节律性主要由外界条件如温度、湿度、光照等引起(Mateus *et al*., 1996; Pearsall, 2002)。然而,在温湿度和光照条件控制下西花蓟马的飞行行为是否具有节律性尚未有人进行研究。已有研究报道,通过室内行为观察发现,西花蓟马的行走行为在昼间不同时间具有一定的节律性,但主要由光照亮度的变化引起(Whittaker and Kirk, 2010)。由此可见,光照对西花蓟马的行为规律具有重要的影响作用。通常,全黑暗周期是研究昆虫内在昼夜节律的标准方法(Saunders, 2003)。有研究报道,全黑暗周期下,多数西花蓟马的行走行为不具有明显节律性(Whittaker and Kirk, 2010),这与本试验在恒定光照下交配行为的无节律性结果一致。以上两种结果表明,西花蓟马的行为不具有内在的节律性,观察到的节律性变化主要是由于光照等条件的变化引起的。本实验未对西花蓟马夜间的交配行为进行观察,对西花蓟马整个光周期(昼夜周期)交配行为的观察将有助于进一步了解西花蓟马的交配相关行为规律和相关影响因素。

西花蓟马不同行为间具有一定的相关性:蓟马的飞行、行走行为是雄虫发现雌虫的前提,与交配相关行为密切相关。分别通过室内行为试验和田间动态试验共同研究西花蓟马的多种行为将有助于进一步明确西花蓟马的活动规律。本试验仅在室内恒定条件下对西花蓟马的交配相关行为进行研究,而对田间西花蓟马交配相关规律尚未研究。进一步对西花蓟马田间交配相关行为规律及与飞行行为规律间的关系进行研究,将有利于明确西花蓟马不同行为间的活动规律和相关性。

聚集信息素除了引起同种昆虫的聚集行为外,在雌雄两性互作中起着非常重要的作用(Wertheim *et al*., 2005)。聚集信息素引起的聚集行为,有助于昆虫寻找配偶。西花蓟马尚未有性信息素的报道,聚集信息素两种主要成分在西花蓟马交配行为和雌雄互作中是否起到一定的作用尚未明确。本实验通过研究西花蓟马成虫聚集信息素在光照阶段不同时间的释放节律发现,聚集信息素组分(*R*)-lavandulyl acetate 的释放率在光照阶段不同时间具有显著差异,但其释放率的差异并不影响西花蓟马成虫的交配相关行为和雌雄互作行为,即西花蓟马成虫的交配相关行为和雌雄互作行为在不同时间没有显著差异。而 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 的释放率则与西花蓟马成虫交配相关行为和雌雄互作行为规律相一致,在光照阶段不同时间不具有显著差异。两种聚集信息素释放率与西花蓟马交配和雌雄互作规律的对应关系间接表明 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 和(*R*)-lavandulyl acetate 在西花蓟马雌雄互作中的作用可能不尽相同。已有学者对西花蓟马聚集信息素组分 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 和(*R*)-lavandulyl acetate 对雌雄两性成虫引诱效果和近距离行为调控作用进行研究(Olaniran, 2013)。具体来说,neryl (*S*)-2-methylbutanoate 对西花蓟马雌雄成虫均具有引诱效果,而(*R*)-lavandulyl acetate 则不具有引诱活性(Hamilton *et al*., 2005; 吕要斌等, 2015)。在近距离行为调控中,neryl(*S*)-2-methylbutanoate 可增加西花蓟马雌虫的活动性,而(*R*)-lavandulyl acetate 则对雌虫和雄虫的行为影响各不相同,可能是调控交配行为的信息素(Olaniran, 2013)。然而,本研究发现(*R*)-lavandulyl acetate 释放率的变化对西花蓟马雌雄交配和互作没有显著影响。该组分在西花蓟马成虫交配行为中的具体作用仍需通过直接验证试验进一步明确。

西花蓟马聚集信息素两种主要组分的比例在不同的地理种群中具有明显的差异。英国种群聚集信息素两种组分 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 和(*R*)-lavandulyl acetate 的比例为 0.8∶1 ~ 5∶1(Hamilton *et al*., 2005),而中国种群两种比例为 12.9∶1(祝小云等, 2012)。本研究结果发现,两种主要组分的比例同样随时间的变化而变化。田间引诱试验发现,两种主要组分的比例影响聚集信息素对西花蓟马的引诱效果(吕要斌等, 2015)。因此,进一步探索两种主要组分 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 和(*R*)-lavandulyl acetate 释放比例的时空变化规律及其在西花蓟马行为调控中的作用对进一步明确聚集信息

素的化学通讯和行为学机制具有重要意义。

在恒定温度和光照条件下，西花蓟马成虫的交配行为和雌雄互作行为不具有明显的节律性，且聚集信息素主要活性成分 neryl (*S*)-2-methylbutanoate 的释放在光照阶段不同时间没有显著差异。这表明，通过控制温室内的温度和光照条件，减少温室内温度和光照的极端波动，保持西花蓟马持续的活动性，有助于延长蓟马聚集信息素引诱剂对蓟马引诱效果的持效时间，增加蓟马引诱剂的使用时间范围，这将对聚集信息素的广泛使用具有重要意义。

参考文献（References）

Broughton S, Cousins DA, Rahman T, 2015. Evaluation of semiochemicals for their potential application in mass trapping of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in roses. *Crop Prot.*, 67(1): 130 – 135.

Broughton S, Harrison J, 2012. Evaluation of monitoring methods for thrips and the effect of trap colour and semiochemicals on sticky trap capture of thrips (Thysanoptera) and beneficial insects (Syrphidae, Hemerobiidae) in deciduous fruit trees in Western Australia. *Crop Prot.*, 42(1): 156 – 163.

Hamilton JGC, Hall DR, Kirk WDJ, 2005. Identification of a male-produced aggregation pheromone in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *J. Chem. Ecol.*, 31(6): 1369 – 1379.

Kiers E, Kogel WJD, Balkema-Boomstra A, Mollema C, 2010. Flower visitation and oviposition behavior of *Frankliniella occidentalis* (Tysan., Thripidae) on cucumber plants. *J. Appl. Entomol.*, 124(1): 27 – 32.

Kirk WDJ, 2002. The pest and vector from the West: *Frankliniella occidentalis*. In: Thrips and Tospoviruses: Proceedings of the Seventh International Symposium on Thysanoptera. Australian National Insect Collection, Canberra. 33 – 42.

Kirk WDJ, 2017. The aggregation pheromones of thrips (Thysanoptera) and their potential for pest management. *Int. J. Trop. Insect Sci.*, 37(2): 41 – 49.

Kirk WDJ, MacDonald KM, Whittaker MS, Hamilton JGC, Jacobson R, 1999. The oviposition behaviour of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). In: Proceedings of the Sixth International Symposium on Thysanoptera. Akdeniz University, Antalya, Turkey. 69 – 75.

Kirk WDJ, Terry LI, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agr. Forest Entomol.*, 5(4): 301 – 310.

Lewis T, Taylor LR, 2010. Diurnal periodicity of flight by insects. *Ecol. Entomol.*, 116(15): 393 – 435.

Li XW, Fail J, Shelton AM, 2015. Female multiple matings and male harassment and their effects on fitness of arrhenotokous *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae). *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 69(10): 1585 – 1595.

Li XW, Fail J, Wang P, Feng JN, Shelton AM, 2014a. Performance of arrhenotokous and thelytokous *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on onion and cabbage and its implications on evolution and pest management. *J. Econ. Entomol.*, 107(4): 1526 – 1534.

Li XW, Jiang HX, Zhang XC, Shelton AM, Feng JN, 2014b. Post-mating interactions and their effects on fitness of female and male *Echinothrips americanus* (Thysanoptera: Thripidae), a new insect pest in China. *PLoS ONE*, 9(1): e87725.

Lu YB, Zhang ZJ, Wu QJ, Du YZ, Zhang HR, Yu Y, Wang ED, Wang MH, Wang MQ, Tong XL, Lv LH, Tan XQ, Fu WD, 2011. Research progress of the monitoring, forecast and sustainable management of invasive alien pest *Frankliniella occidentalis* in China. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 48(3): 488 – 496. [吕要斌，张治军，吴青君，杜予州，张宏瑞，于毅，王恩东，王鸣华，王满囷，童晓立，吕利华，谭新球，付卫东，2011. 外来入侵害虫西花蓟马防控技术研究与示范. 应用昆虫学报，48(3): 488 – 496]

Lu YB, Zhang JM, Li WD, Zhang ZJ, Bei YW, Zhang PJ, Huang F, Lin WC, 2015. Attractants of Western flower thrips. China Patent, CN 104381255 A, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, 2015-03-04. [吕要斌，章金明，郦卫弟，张治军，贝亚维，张蓬军，黄芳，林文彩，2015. 一种用于引诱西花蓟马的试剂. 中国专利，CN 104381255 A，浙江省农业科学院，2015-03-04]

Mateus C, Araújo J, Mexia A, 1996. Daily flight periodicity of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Folia Entomol. Hung.*, 62(Suppl.): 97 – 102.

Olaniran OA, 2013. The Roles of Pheromones of Adult Western Flower Thrips. PhD Dissertation, Keele University, UK.

Pearsall IA, 2002. Daily flight activity of the western flower thrips (Thysan., Thripidae) in nectarine orchards in British Columbia, Canada. *J. Appl. Entomol.*, 126(6): 293 – 302.

Pei CY, Zhang YP, Zheng CY, 2010. Distribution and daily activity of adult western flower thrips [*Frankliniella occidentalis* (Pergande)] under solar greenhouse condition. *Chin. J. Eco-Agric.*, 18(2): 384 – 387. [裴昌莹，张艳萍，郑长英，2010. 西花蓟马成虫在日光温室内的分布和日活动规律. 中国生态农业学报，18(2): 384 – 387]

Saunders DS, 2003. Insect Clocks. 3rd ed. Elsevier, Amsterdam.

Terry LI, Gardner D, 1990. Male mating swarms in *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *J. Insect Behav.*, 3(1): 133 – 141.

Tommasini MG, Maini S, 1995. *Frankliniella occidentalis* and other thrips harmful to vegetable and ornamental crops in Europe. In: Loomans AJM, van Lentern JC, Tommasini MG, Maini S, Riudavets J eds. Biological Control of Thrips Pests. Veenman Drukkers, Wageningen, The Netherlands.

Wang Y, Qiu YZ, 2011. Application and prospect of insect pheromone. *Fujian Agric. Sci. Tech.*, (2): 48 – 50. [王郁，邱乐忠，2011. 昆虫信息素的应用及前景. 福建农业科技，(2): 48 – 50]

Wertheim B, van Baalen E-JA, Dicke M, Vet LEM, 2005. Pheromone-mediated aggregation in nonsocial arthropods: an evolutionary ecological perspective. *Annu. Rev. Entomol.*, 50: 321 – 346.

Whittaker MS, Kirk WDJ, 2010. The effect of photoperiod on walking,

feeding, and oviposition in the western flower thrips. *Entomol. Exp. Appl.*, 111(3): 209 - 214.

Yudin LS, Cho JJ, Mitchell WC, 1986. Host range of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), with special reference to *Leucaena glauca*. *Environ. Entomol.*, 15(6): 1292 - 1295.

Zhang PJ, Zhu XY, Lu YB, 2011. Behavioural and chemical evidence of a male-produced aggregation pheromone in the flower thrips *Frankliniella intonsa*. *J. Chem. Ecol.*, 36(4): 317 - 320.

Zhang YJ, Wu QJ, Xu BY, Zhu GR, 2003. The occurrence of a dangerous alien invasive pest, western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*), in Beijing. *Plant Prot.*, 29(4): 58 - 59 [张友军, 吴青君, 徐宝云, 朱国仁, 2003. 危险性外来入侵生物——西花蓟马在北京发生危害. 植物保护, 29(4): 58 - 59]

Zhu XY, Zhang PJ, Lu YB, 2012. Isolation and identification of the aggregation pheromone released by male adults of *Frankliniella intonsa* (Thysanoptera: Thripidae). *Acta Entomol. Sin.*, 55(4): 376 - 385. [祝晓云, 张蓬军, 吕要斌, 2012. 花蓟马雄虫释放的聚集信息素的分离和鉴定. 昆虫学报, 55(4): 376 - 385]

(责任编辑: 赵利辉)